

4



FR 00 / 484

# BREVET D'INVENTION

**09/914512****CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION**

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le **17 MARS 2000**

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

## DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA REGLÉ  
17.1.a) OU b)

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS Cédex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04  
Télécopie : 01 42 93 59 30



REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

Confirmation d'un dépôt par télécopie ☐

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

Réservé à l'INPI DATE DE REMISE DES PIÈCES <b>03 Mars 99</b> N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL <b>99 02672</b> DÉPARTEMENT DE DÉPÔT <b>99</b> DATE DE DÉPÔT <b>03 MARS 1999</b>		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE Henri Dupont Schlumberger Industries RMS / Propriété Intellectuelle B.P. 620-05 92542 MONTROUGE CEDEX	
2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle <input checked="" type="checkbox"/> brevet d'invention <input type="checkbox"/> demande divisionnaire <input type="checkbox"/> certificat d'utilité <input type="checkbox"/> transformation d'une demande de brevet européen <input type="checkbox"/> demande initiale <input type="checkbox"/> brevet d'invention <input type="checkbox"/> certificat d'utilité n° Établissement du rapport de recherche <input type="checkbox"/> différé <input checked="" type="checkbox"/> immédiat Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non Titre de l'invention (200 caractères maximum) Méthode et dispositif de mesure du temps de propagation d'un signal, en particulier d'un signal ultrasonore.		n° du pouvoir permanent <b>532</b> références du correspondant <b>74 - 241</b> téléphone <b>01 47 46 69 83</b> date	
3 DEMANDEUR (S) n° SIREN <b>5 4 2 0 6 2 1 2 0</b> Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination Schlumberger Industries, S.A.		code APE-NAF Forme juridique Société Anonyme	
Nationalité (s) Française Adresse (s) complète (s) 50 avenue Jean Jaurès 92120 Montrouge		Pays France	
4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non En cas d'insuffisance de place, poursuivre sur papier libre <input type="checkbox"/> Si la réponse est non, fournir une désignation séparée			
5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES <input type="checkbox"/> requise pour la 1ère fois <input type="checkbox"/> requise antérieurement au dépôt : joindre copie de la décision d'admission			
6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE pays d'origine numéro date de dépôt nature de la demande			
7 DIVISIONS antérieures à la présente demande n° date n° date			
8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE (nom et qualité du signataire) Henri Dupont Mandataire		SIGNATURE DU PRÉPOSÉ À LA RÉCEPTION SIGNATURE APRÈS ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE À L'INPI	

**DÉSIGNATION DE L'INVENTEUR**

(si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

N° d'enregistrement national

990 8672

**Titre de l'invention :** Méthode et dispositif de mesure du temps de propagation d'un signal, en particulier d'un signal ultrasonore.

**Le (s) soussigné (s)** Henri Dupont  
Schlumberger Industries  
RMS / Propriété Intellectuelle  
B.P. 620 -05  
92542 Montrouge Cedex

**désigne (nt) en tant qu'inventeur (s)** (indiquer nom, prénoms, adresse et souligner le nom patronymique) :

LELEU Christophe  
215 rue de la Lyre  
71 000 Mâcon

**NOTA :** A titre exceptionnel, le nom de l'inventeur peut être suivi de celui de la société à laquelle il appartient (société d'appartenance) lorsque celle-ci est différente de la société déposante ou titulaire.

Date et signature (s) du (des) demandeur (s) ou du mandataire

Le 1er mars 1999

L'invention est relative à une méthode et à un dispositif de mesure du temps de propagation de signaux, notamment ultrasonores se propageant entre deux transducteurs.

Afin de mesurer le temps de propagation  $T_p$  d'un signal, par exemple un signal ultrasonore, entre deux transducteurs, une méthode connue consiste à exciter le transducteur émetteur au moyen d'une impulsion d'excitation IE1. Une telle impulsion d'excitation est de forme sensiblement rectangulaire et le spectre en fréquence comprend la fréquence d'excitation du transducteur. Cette impulsion va donner lieu à l'émission, par le transducteur émetteur, d'une onde ultrasonore dans le milieu séparant les deux transducteurs. Cette onde ultrasonore va se propager en direction du transducteur récepteur. La figure 1 représente le signal d'excitation IE1 du transducteur émetteur et le signal en sortie du transducteur récepteur SR1. La méthode consiste à détecter la première oscillation de ladite onde dès son arrivée sur le transducteur récepteur. Le temps de propagation  $T_p$  est alors le temps entre l'instant où le transducteur émetteur est soumis à l'impulsion d'excitation et l'instant de détection de la première oscillation de l'onde ultrasonore arrivant au niveau du transducteur récepteur. Cette méthode est particulièrement difficile à mettre en œuvre et souffre d'imprécision donnant lieu à une mesure du temps de propagation erronée. En effet, l'onde ultrasonore donne lieu au niveau du transducteur récepteur à un signal de réponse d'amplitude très faible. A titre d'exemple, dans le cadre de la débitmétrie ultrasonore utilisée dans les réseaux de chauffage, à un transducteur de fréquence de résonance proche de 1 MHz correspond un signal de réponse d'une amplitude comprise entre 3 et 10 mV environ. La figure 2 présente l'allure du signal de réponse du transducteur récepteur SR1 lorsque le transducteur émetteur est excité par une seule impulsion. La méthode consiste à détecter la première oscillation de l'onde ultrasonore PF1 en détectant le dépassement d'un seuil de tension. Cette méthode nécessite d'une part de détecter de très faibles niveaux de tension, et d'autre part de maîtriser précisément le seuil de déclenchement du dispositif de détection de l'arrivée d'une oscillation afin de ne pas introduire de retard dans la mesure du temps de propagation. Cette méthode peut être précise si l'on utilise un composant électronique à déclenchement de seuil performant, mais coûteux. Elle est par contre imprécise avec un composant électronique à déclenchement de seuil de type courant.

Par ailleurs, on connaît par le brevet US 5,123,286 une méthode pour déterminer le temps de propagation d'une onde ultrasonore entre deux transducteurs. Le transducteur émetteur est excité par une impulsion carrée qui donne lieu à l'apparition d'un signal de réponse typique d'un oscillateur amorti dont l'amplitude crête augmente pour un certain nombre de périodes avant de

décroître. La méthode se propose de déterminer le temps de propagation entre l'instant d'excitation du transducteur émetteur et l'instant de réception du signal ultrasonore par le transducteur récepteur. Elle consiste à calculer une enveloppe du signal de réponse par la détermination d'une part de l'amplitude d'un groupe de périodes et d'autre part des instants de passage à zéro desdites périodes. Le point d'intersection de cette enveloppe avec la ligne de base du signal de réponse est ensuite calculé pour déterminer l'instant d'apparition du signal de réponse au niveau du transducteur. Enfin, la détermination du temps de propagation s'effectue en calculant la différence entre l'instant d'excitation et ledit instant d'apparition du signal. Cette méthode est complexe à mettre en œuvre, et nécessite d'effectuer et de stocker diverses mesures ainsi que de réaliser de nombreux calculs.

La présente invention a ainsi pour objet une méthode pour mesurer le temps de propagation  $T_p$  d'un signal ultrasonore entre deux transducteurs constitués d'un émetteur et d'un récepteur à distance l'un de l'autre, le transducteur émetteur étant soumis à un signal d'excitation donnant lieu à l'émission d'une onde ultrasonore, ladite onde ultrasonore générant en sortie du transducteur récepteur un signal de réception, caractérisée en ce que ladite méthode comporte les étapes suivantes :

- soumettre le transducteur émetteur à un signal d'excitation comportant  $n$  impulsions successives de période  $T_e$ ,
- débiter une mesure de temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  dès le début de l'excitation du transducteur émetteur,
- détecter le signal de réception en sortie du transducteur récepteur et compter les oscillations dudit signal de réception,
- arrêter la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  lorsque la  $i$ -ième oscillation est détectée, et
- déterminer le temps de propagation  $T_p$  du signal en formant la différence  $T_{int} - i \times T_e$ .

De façon avantageuse, le nombre d'impulsions  $n$  composant le signal d'excitation est tel que  $n \neq 1$  et la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la  $i$ -ième oscillation du signal de réception telle que  $i \neq 1$ .

Selon un premier mode de réalisation, la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la  $i$ -ième oscillation du signal de réception correspondant à une amplitude du signal de réception maximum.

Selon un deuxième mode de réalisation, la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la  $i$ -ième oscillation du signal de réception telle que  $i=n$ .

- 5 Selon un mode de réalisation particulier, le nombre d'impulsions  $n$  composant le signal d'excitation est de préférence  $n = 4$  ou  $5$  et la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la  $i$ -ième oscillation du signal de réception telle que de préférence  $i = 4$  ou  $5$ .

- 10 La réponse du transducteur au train de  $n$  impulsions correspond à la réponse transitoire d'un oscillateur à une excitation périodique. L'amplitude crête d'un tel signal de réception augmente très rapidement pendant les premières périodes du signal puis se stabilise à une amplitude constante. Un premier avantage est que l'amplitude de la  $i$ -ième oscillation est plus grande dans le cas de la réponse à un train de  $n$  impulsions (avec  $n>1$ ) que dans le cas de la réponse à une seule impulsion d'excitation. Un autre avantage d'effectuer la mesure du temps de propagation
- 15 sur une  $i$ -ième oscillation choisie de façon convenable, permet d'effectuer une mesure de temps de propagation sur un signal d'amplitude beaucoup plus grande que la première oscillation du signal de réception. Ainsi, d'une part le seuil de déclenchement sera petit par rapport à l'amplitude crête du signal de réception ce qui implique que le retard introduit par le temps que met le signal de réception à atteindre le seuil de déclenchement sera bien plus petit pour la  $i$ -
- 20 ième oscillation que pour la première oscillation, et d'autre part cette méthode permet d'utiliser un comparateur à seuil de déclenchement standard sans qu'il soit nécessaire de contrôler précisément son seuil de déclenchement, tout en améliorant notablement la précision sur la mesure du temps de propagation.

- 25 La présente invention a également pour objet un dispositif de mesure du temps de propagation  $T_p$  d'un signal ultrasonore comprenant :

- des moyens de formation d'un signal d'excitation,
  - un transducteur émetteur 1, 2 relié audit moyen de formation d'un signal d'excitation,
  - un transducteur récepteur transformant le signal ultrasonore en un signal de réception,
- 30 - des moyens de comparaison reliés audit transducteur récepteur, comparant l'amplitude du signal de réception à une tension seuil de déclenchement et générant un signal représentatif des oscillations dudit signal de réception,
- ledit dispositif comportant en outre :

- des moyens de comptage d'un temps fixe  $T_0$  reliés audits moyens de formation d'un signal d'excitation, destinés à décompter un temps fixe  $T_0$  à partir de l'instant d'excitation du transducteur émetteur,
  - des moyens de détermination de la  $i$ -ième oscillation reliés audits moyens de comparaison, destinés à compter le nombre d'oscillations du signal de réception et à détecter la  $i$ -ième oscillation,
  - des moyens de mesure d'un temps variable  $T_{\text{IEX}}$  entre la fin du comptage de  $T_0$  et la détection de la  $i$ -ième oscillation.
- 10 D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront au cours de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, faite en référence aux dessins annexés et sur lesquels :
- la figure 1 représente le signal d'excitation du transducteur émetteur et le signal en sortie du transducteur récepteur en fonction du temps pour une méthode de mesure selon l'art antérieur,
  - la figure 2 représente l'allure du signal de réponse du transducteur récepteur en fonction du temps lorsque le transducteur émetteur est excité par une seule impulsion pour une méthode de mesure selon l'art antérieur,
  - la figure 3 représente le signal d'excitation du transducteur émetteur et le signal en sortie du transducteur récepteur en fonction du temps pour la méthode de mesure selon l'invention,
  - la figure 4 représente l'allure du signal de réception du transducteur récepteur en fonction du temps lorsque le transducteur émetteur est excité par un train d'impulsions pour une méthode de mesure selon l'invention,
  - la figure 5 représente l'amplitude du signal de réception du transducteur récepteur pour la première et la  $i$ -ème oscillation,
  - les figures 6.a à 6.d sont des représentations schématiques des différents circuits électroniques permettant de mettre en œuvre la méthode selon l'invention, et
  - la figure 6 représente les chronogrammes des divers signaux en relation avec les circuits électroniques des figures 6.a à 6.d.

30 Sur la figure 3 est représenté le signal d'excitation  $I_{\text{En}}$  destiné à exciter le transducteur émetteur ainsi que le signal de réception  $SR_n$  mesuré en sortie du transducteur récepteur. Le temps de propagation  $T_p$  que l'on cherche à mesurer est la durée s'écoulant entre l'instant où le signal d'excitation est envoyé sur le transducteur et l'instant où le signal ultrasonore résultant arrive au niveau du transducteur récepteur.



Le signal d'excitation  $I_{En}$  comporte une succession de  $n$  impulsions avec un rapport cyclique de par exemple 0,5. De préférence, le nombre d'impulsions  $n$  composant le signal d'excitation est tel que  $n \neq 1$ . Le spectre en fréquence de chaque impulsion comporte au moins une fréquence d'excitation  $T_e$  proche de la fréquence de résonance du transducteur, par exemple 1 MHz. Ainsi, le transducteur étant comparable à un oscillateur, le fait de le soumettre à une succession d'impulsions, chaque impulsion étant de forme sensiblement rectangulaire va mettre le transducteur dans un régime d'oscillations périodiques entretenues, pendant une durée liée au nombre d'impulsions composant le signal d'excitation. L'onde ultrasonore émise par le transducteur émetteur en direction du transducteur récepteur, dans le milieu séparant les deux transducteurs, résulte du signal d'excitation dont les caractéristiques ont été décrites précédemment. Cette onde donne lieu au niveau du transducteur récepteur au signal de réception  $SR_n$ . L'onde ultrasonore ainsi que le signal électrique de réception en résultant en sortie du transducteur récepteur ont typiquement la forme d'un paquet d'ondes, c'est à dire d'une oscillation dont l'amplitude croît, puis atteint un maximum pour ensuite diminuer. La diminution de l'amplitude intervenant lorsque le transducteur émetteur n'est plus soumis au signal d'excitation, il a alors le comportement d'un oscillateur amorti.

La figure 4 représente une partie du signal de réception mesuré en sortie du transducteur récepteur. La figure 5 représente l'amplitude de ce signal pour la première et la  $i$ -ème oscillation.

La première oscillation  $P1$  du signal de réception a une amplitude  $V_{max}(1)$  faible mais néanmoins supérieure à la tension seuil de déclenchement  $V_{trig}$  permettant sa détection par un circuit électronique approprié. Par contre la  $i$ -ème oscillation  $Pi$  du signal de réception a une amplitude  $V_{max}(i)$  très supérieure à la tension seuil de déclenchement  $V_{trig}$ . Il est donc clair que l'erreur commise sur une mesure de temps correspondant à l'instant précis où le dépassement de la tension de seuil est détecté est d'autant plus faible que l'amplitude est grande. En conséquence l'erreur commise sur la  $i$ -ème oscillation  $Pi$  est bien plus faible que celle commise pour la première oscillation  $P1$ . Il est donc préférable, afin de minimiser l'erreur commise sur la mesure du temps de propagation, de faire une mesure du temps de propagation intermédiaire sur la  $i$ -ème oscillation, puis de corriger cette mesure en retranchant le temps s'étant écoulé entre la détection de la première oscillation et la  $i$ -ème oscillation.

De façon avantageuse, la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la  $i$ -ème oscillation du signal de réception telle que  $i \neq 1$ . Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux, la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée

pour la  $i$ -ième oscillation du signal de réception correspondant à une amplitude du signal de réception maximum.

Selon un autre mode de réalisation, la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la  $i$ -ième oscillation du signal de réception telle que  $i=n$ .

5

Les figures 6.a à 6.d vont maintenant être décrites en relation avec la figure 7. La figure 7 représente les chronogrammes des signaux intervenant dans les circuits électroniques des figures 6.a à 6.d. Pour l'ensemble des figures 6.a à 6.d, une pile (non représentée) fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement des divers composants électroniques par l'intermédiaire d'un câblage approprié et connu de l'homme du métier.

10

Un tel dispositif trouve notamment une application dans le domaine de la débitmétrie ultrasonore. Les deux transducteurs 1, 2 sont alors disposés dans un écoulement de fluide, le transducteur 1 étant de façon alternée émetteur puis récepteur, l'autre transducteur 2 étant dans un état inverse par rapport au transducteur 1. Les temps de propagation des ondes ultrasonores entre les deux transducteurs 1, 2 dans le sens amont T1 puis dans le sens aval T2 dans le fluide en écoulement permettent de calculer le débit du fluide Q en fonction d'un terme défini K lié à la géométrie du débitmètre :

15

$$Q \approx \frac{4 \times K \times |T2 - T1|}{(T1 + T2)^2}.$$

La figure 6.a est une vue schématique du circuit qui contrôle l'émission et la réception des ondes ultrasonores par les transducteurs 1, 2. Lors des phases d'émissions, un microcontrôleur (non représenté) commande l'envoi d'un signal d'émission ST1, ST2 (voir fig. 7) sur le transducteur 1, 2 respectivement. Le signal d'émission ST1, ST2 est composé d'un train formé de n impulsions de fréquence  $f_e$ , par exemple 1 MHz. Le train d'impulsions est synchrone avec le signal d'horloge CLK1.

20

25

Sur la figure 6.a, les transducteurs 1, 2 sont du type comportant une lame en matériau piézo-électrique avec deux surfaces métallisées, l'une étant reliée à la masse 0 et l'autre aux interrupteurs U3, U4 respectivement. Lorsque le transducteur 1 est soumis à un signal d'excitation ST1 et émet un signal ultrasonore en direction du transducteur 2, l'interrupteur U3 est ouvert, alors que l'interrupteur U4 relié au transducteur 2 en mode de réception est fermé. La configuration des interrupteurs est inversée lorsque le transducteur 2 est soumis au signal d'excitation ST2 et que le transducteur 1 est en mode de réception. Les interrupteurs U3, U4 sont commandés par le microcontrôleur (non représenté) d'une manière classique. La tension en

30

sortie VS1, VS2 du transducteur 1, 2 respectivement est envoyée sur l'entrée inverseuse du comparateur U5. Le comparateur U5 est alimenté par la tension VDD par son entrée V+. L'entrée V- du comparateur U5 est reliée à la masse 0. L'entrée non-inverseuse est reliée à une tension de référence dite de déclenchement Vtrig. La sortie du comparateur est reliée à un inverseur U6. Ainsi le signal de réception SIG est disponible en sortie du bloc comparateur U5, U6, lequel est réglé pour un seuil de détection Vtrig. Le dépassement du seuil de tension Vtrig donne lieu à un état bas "0" en sortie du comparateur U5, le passage sous le seuil de tension à un état haut "1". Le signal SIG (voir fig.7) fournit par le circuit de la fig. 6.a est donc représentatif du signal de réception fourni par le transducteur émetteur, chaque créneau du signal SIG correspondant à une arche positive d'une oscillation du signal de réception.

Les figures 6.b, 6.c et 6.d représentent schématiquement les circuits permettant de mesurer le temps de propagation. Le temps de propagation est déterminé en additionnant deux contributions temporelles. Tout d'abord un premier circuit représenté sur les figures 6.b et 6.d permet de décompter un temps fixe To, puis un deuxième circuit représenté sur la figure 6.c permet de mesurer le temps restant entre To et l'instant correspondant à la détection du signal correspondant à la i-ème oscillation. Pour déterminer ce temps restant, lequel est variable, il faut pouvoir mesurer une durée faible ce qui ne peut être effectué par des moyens classiques tels que par exemple une horloge et un compteur haute fréquence. L'utilisation d'un circuit extenseur de temps permet de s'affranchir de ce problème. Le principe de fonctionnement et la mise en œuvre du circuit extenseur de temps ont déjà été décrits dans le brevet FR 2 750 495. Le circuit extenseur de temps HB5 multiplie la durée d'un créneau par un facteur de multiplication temporel propre au circuit extenseur de temps. L'intervalle de temps dit expansé en sortie du circuit HB5 peut être déterminé de manière classique ce qui permet d'en déduire la durée du créneau en divisant la durée de l'intervalle de temps expansé par le facteur multiplicatif.

Sur la figure 6.b, la porte logique U7 de type "OU" reçoit sur l'une de ces deux entrées le signal ST1 et sur l'autre le signal ST2, sa sortie étant reliée à l'entrée LAT de la bascule de type D U8. Ainsi, lorsqu'un signal ST1 ou ST2 est présent sur l'une des entrées de la porte U7, il est envoyé sur l'entrée LAT. Les deux entrées S et D de la bascule U8 sont au potentiel Vdd c'est à dire dans un état haut et l'entrée  $\bar{R}$  est soumise au signal d'initialisation RG. La sortie  $\bar{Q}$  de la bascule U8 est en l'air. L'autre sortie Q de la bascule U8 est reliée à une porte logique U9 de type "ET", dont l'autre entrée est soumise au signal d'horloge CLK1. Ainsi, après initialisation de la bascule U8, dès qu'un signal ST1 ou ST2 est présent à l'entrée LAT, la sortie Q de la

bascule passe dans l'état haut. Le signal en sortie de la porte logique U9 devient alors le signal d'horloge CLK1. La sortie de la porte logique U9 est reliée à l'entrée CLK du compteur HB1, lequel possède une entrée R soumise au signal d'initialisation RG. Le compteur HB1 va donc compter le nombre de périodes arrivant à son entrée CLK après son initialisation par RG. La  
5 sortie du compteur HB1 est reliée à l'entrée d'un décodeur HB2, lequel génère en sortie un signal OSP représentatif de l'intervalle de temps fixe  $T_0$ . Cette durée  $T_0$  correspond à la durée pendant laquelle le signal OSP est dans un état bas.

Ce circuit a donc pour fonction de décompter un temps fixe  $T_0$ , dès le premier changement d'état provoqué par l'arrivée d'un signal ST1 ou ST2 à l'une de ces entrées au niveau de la porte  
10 U7.

Une fois la première durée  $T_0$  décomptée, le deuxième circuit représenté à la figure 6.c va déterminer la durée restante entre la fin du comptage correspondant à  $T_0$  et la détection de la  $i$ -ième oscillation du signal de réception SIG.

Dans un premier temps, il est nécessaire de détecter la  $i$ -ième oscillation. Cette tâche est  
15 dévolue au circuit représenté à la figure 6.d. Ce circuit comporte un compteur HB3, lequel possède deux entrées R et CLK, lesquelles sont soumises au signal d'initialisation RG et au signal de réception SIG respectivement. Après initialisation, dès l'arrivée du signal SIG, le compteur va compter le nombre de crêneaux que comporte le signal de réception SIG. L'entrée du décodeur HB4 est reliée à la sortie du compteur HB3, de telle sorte que lorsque le compteur atteint le  $i$ -ième crêneau, le signal de détection ESP en sortie du décodeur HB4 va passer de  
20 l'état bas à l'état haut pendant une période du signal de réception SIG (voir fig.7).

Le circuit de la figure 6.c va permettre de déterminer la durée très courte entre la fin du décompte de  $T_0$  et la détection de la  $i$ -ième oscillation au moyen du circuit extenseur de temps HB5. Une première bascule U12 de type D, dont les entrées D et S sont au potentiel  $V_{dd}$  et dont l'entrée  $\bar{R}$  est soumise au signal d'initialisation RG, reçoit par son entrée LAT le signal  
25 OSP, lequel indique la fin de la phase de décomptage de  $T_0$  par un passage à l'état haut (voir fig. 6.b et 7). La sortie  $\bar{Q}$  de la bascule U12 est en l'air. La sortie Q passe dans un état haut lorsque le signal OSP passe de l'état bas à l'état haut. La sortie Q de la bascule U12 est reliée à l'entrée D et LAT de la bascule U13 et U14 respectivement. Les entrées S, LAT et  $\bar{R}$  de la  
30 bascule U13 sont soumises au potentiel  $V_{dd}$ , au signal de détection ESP et au signal d'initialisation RG respectivement. La sortie Q de la bascule U13 est en l'air alors que la sortie  $\bar{Q}$  est reliée à l'entrée  $\bar{R}$  de la bascule U14. Ainsi, lorsque le signal OSP passe d'un état bas à un état haut dès la fin du décompte de  $T_0$  et que le signal de détection ESP passe dans un état

haut lors de la détection de la i-ième oscillation, la sortie  $\overline{Q}$  passe d'un état haut à un état bas, forçant la sortie Q de la bascule U14 à zéro (signal IEX). Les entrées S et D de la bascule U14 sont au potentiel Vdd. La sortie  $\overline{Q}$  de la bascule U14 est en l'air. La sortie Q de la bascule U14 fournit le signal IEX, lequel est à l'état haut lorsque le signal OSP passe à l'état haut et tant que le signal de détection ESP n'est pas passé de l'état bas à l'état haut. Le signal IEX est donc un créneau à l'état haut commençant à la fin du décomptage de To et finissant lorsque la i-ième oscillation est détectée. L'expandeur de temps HB5 traite le signal IEX de telle façon que la durée  $T_{IEX}$ , pendant laquelle le créneau correspondant au signal IEX est dans un état haut, est multipliée par un facteur  $T_{fm}$ . Le signal résultant en sortie de l'expandeur HB5 est le signal IEX\_EXP.

Les deux signaux OSP et IEX\_EXP vont être traités par un microcontrôleur (non représenté), lequel va déterminer le temps de propagation intermédiaire, par exemple dans le cas d'une onde ultrasonore se propageant entre le transducteur 1 et 2 :

$$T_{int} = T_o + \frac{T_{IEX}}{T_{fm}}.$$

Ensuite le microcontrôleur va déterminer le temps de propagation  $T_p$  en fonction du nombre i choisi et de la période du signal ST1 d'excitation du transducteur :

$$T_p = T_{int} - i \times T_e.$$

L'ensemble des circuits électroniques décrits peut être intégré au niveau d'un composant spécifique (ASIC). Le nombre n d'impulsions composant le signal d'excitation ainsi que le nombre i déterminant l'oscillation du signal de réception sur laquelle la mesure du temps de propagation est effectuée peuvent être programmés au niveau de l'ASIC ou du logiciel assurant la gestion de l'ASIC et l'exploitation des données qu'il fournit.

De façon avantageuse, la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la i-ième oscillation du signal de réception correspondant à une amplitude du signal de réception maximum.

A titre d'exemple, dans le domaine de la débitmétrie ultrasonore, les compteurs comportent des transducteurs ultrasonores de fréquence de résonance proche de 1MHz, l'ASIC et le logiciel sont alors programmés de telle sorte que le nombre d'impulsions n composant le signal d'excitation est de préférence  $n=4$  ou 5 et la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la i-ième oscillation du signal de réception telle que de préférence  $i = 4$  ou 5. Par ailleurs la méthode ainsi que le dispositif selon l'invention appliqué à la débitmétrie

ultrasonore, permettent d'améliorer de façon importante la précision des mesures et permettent d'obtenir une erreur inférieure à 0,05% sur la mesure du temps de propagation, tout en utilisant un composant à déclenchement de seuil courant, peu coûteux et consommant peu d'énergie.

- 5 Bien que la méthode ait été décrite en rapport avec des ondes ultrasonores, il est bien évident qu'elle ne se limite pas à ce type d'onde et que l'homme du métier peut transposer la méthode à tout autre type d'onde par exemple électrique ou électromagnétique. Il en va de même pour le dispositif de mesure du temps de propagation.

Revendications :

1. Méthode pour mesurer le temps de propagation  $T_p$  d'un signal ultrasonore entre deux transducteurs constitués d'un émetteur et d'un récepteur à distance l'un de l'autre, le transducteur émetteur étant soumis à un signal d'excitation donnant lieu à l'émission d'une onde ultrasonore en direction du transducteur récepteur, ladite onde ultrasonore générant en sortie du transducteur récepteur un signal de réception, caractérisée en ce que ladite méthode comporte les étapes suivantes :
  - soumettre le transducteur émetteur à un signal d'excitation comportant  $n$  impulsions successives de période  $T_e$ ,
  - débiter une mesure de temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  dès le début de l'excitation du transducteur émetteur,
  - détecter le signal de réception en sortie du transducteur récepteur et compter les oscillations dudit signal de réception,
  - arrêter la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  lorsque la  $i$ -ième oscillation est détectée, et
  - déterminer le temps de propagation  $T_p$  du signal en formant la différence  $T_{int} - i \times T_e$ .
2. Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la  $i$ -ième oscillation du signal de réception correspondant à une amplitude du signal de réception maximum.
3. Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la  $i$ -ième oscillation du signal de réception telle que  $i \neq 1$ .
4. Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la  $i$ -ième oscillation du signal de réception telle que  $i = n$ .
5. Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la  $i$ -ième oscillation du signal de réception telle que de préférence  $i = 4$  ou  $5$ .

6. Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le nombre d'impulsions  $n$  composant le signal d'excitation est tel que  $n \neq 1$ .
7. Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le nombre d'impulsions  $n$  composant le signal d'excitation est tel que de préférence  $n=4$  ou  $5$ .
8. Dispositif de mesure du temps de propagation  $T_p$  d'un signal ultrasonore comprenant :
- des moyens de formation d'un signal d'excitation,
  - un transducteur émetteur 1, 2 relié audits moyens de formation d'un signal d'excitation,
  - un transducteur récepteur transformant le signal ultrasonore en un signal de réception,
  - des moyens de comparaison reliés audit transducteur récepteur, comparant l'amplitude du signal de réception à une tension seuil de déclenchement et générant un signal représentatif des oscillations dudit signal de réception,
- caractérisé en ce qu'il comporte en outre :
- des moyens de décomptage d'un temps fixe  $T_0$  reliés audits moyens de formation d'un signal d'excitation, destinés à décompter un temps fixe  $T_0$  à partir de l'instant d'excitation du transducteur émetteur,
  - des moyens de détermination de la  $i$ -ième oscillation reliés audits moyens de comparaison destinés à compter le nombre d'oscillations du signal de réception et à détecter la  $i$ -ième oscillation,
  - des moyens de mesure d'un temps variable  $T_{IEX}$  entre la fin du décompte de  $T_0$  et la détection de la  $i$ -ième oscillation.
9. Dispositif de mesure du temps de propagation  $T_p$  d'un signal ultrasonore selon la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens de décompte d'un temps fixe  $T_0$  comprennent un compteur (HB1) et un décodeur (HB2).
10. Dispositif de mesure du temps de propagation  $T_p$  d'un signal ultrasonore selon l'une des revendications 8 à 9, caractérisé en ce que les moyens de détermination de la  $i$ -ième oscillation comportent un compteur (HB3) et un décodeur (HB4).
11. Dispositif de mesure du temps de propagation  $T_p$  d'un signal ultrasonore selon l'une des revendications 8 à 10, caractérisé en ce que les moyens de mesure du temps variable  $T_{IEX}$  comportent un dispositif extenseur de temps (HB5).



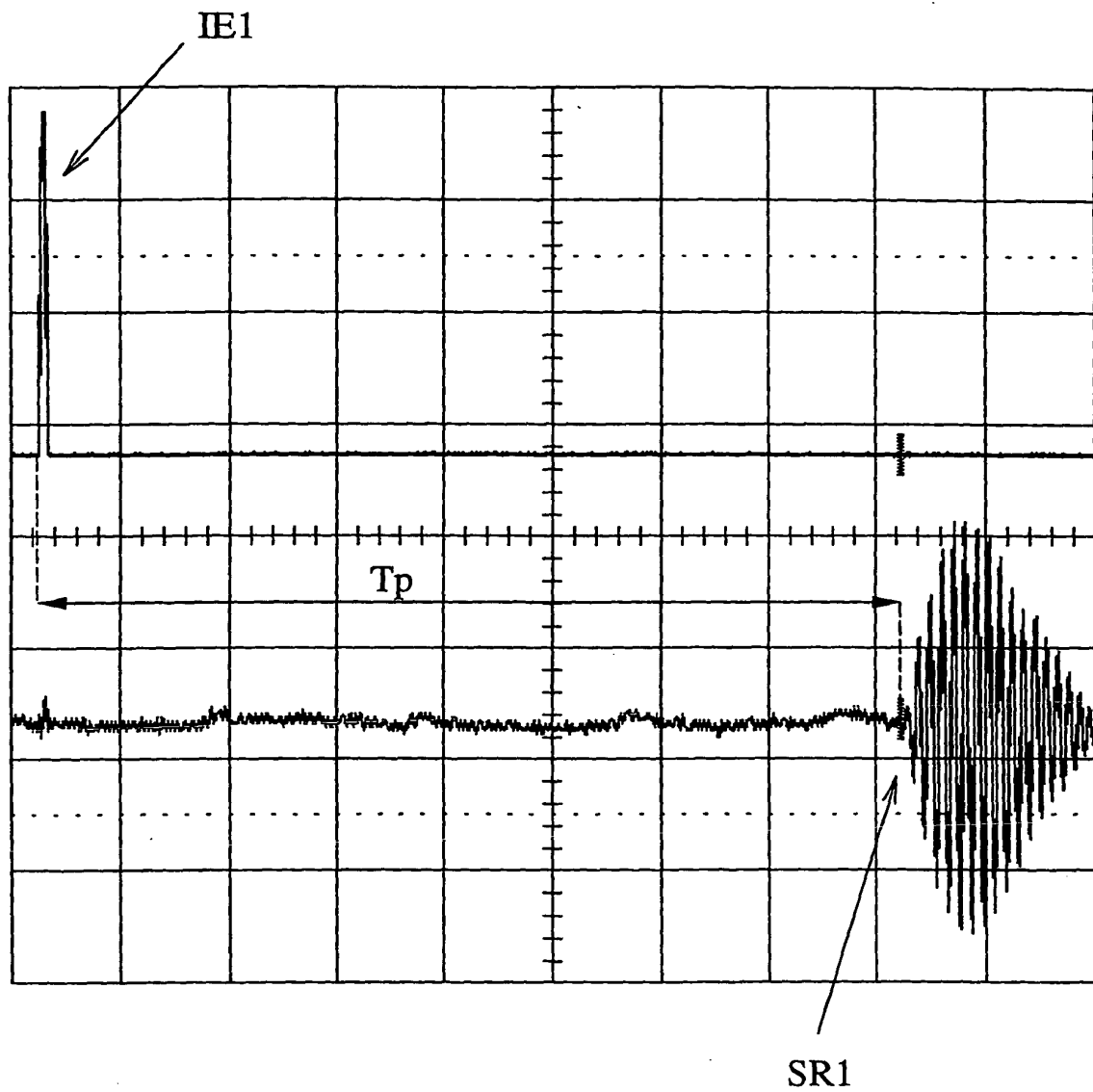


Fig. 1

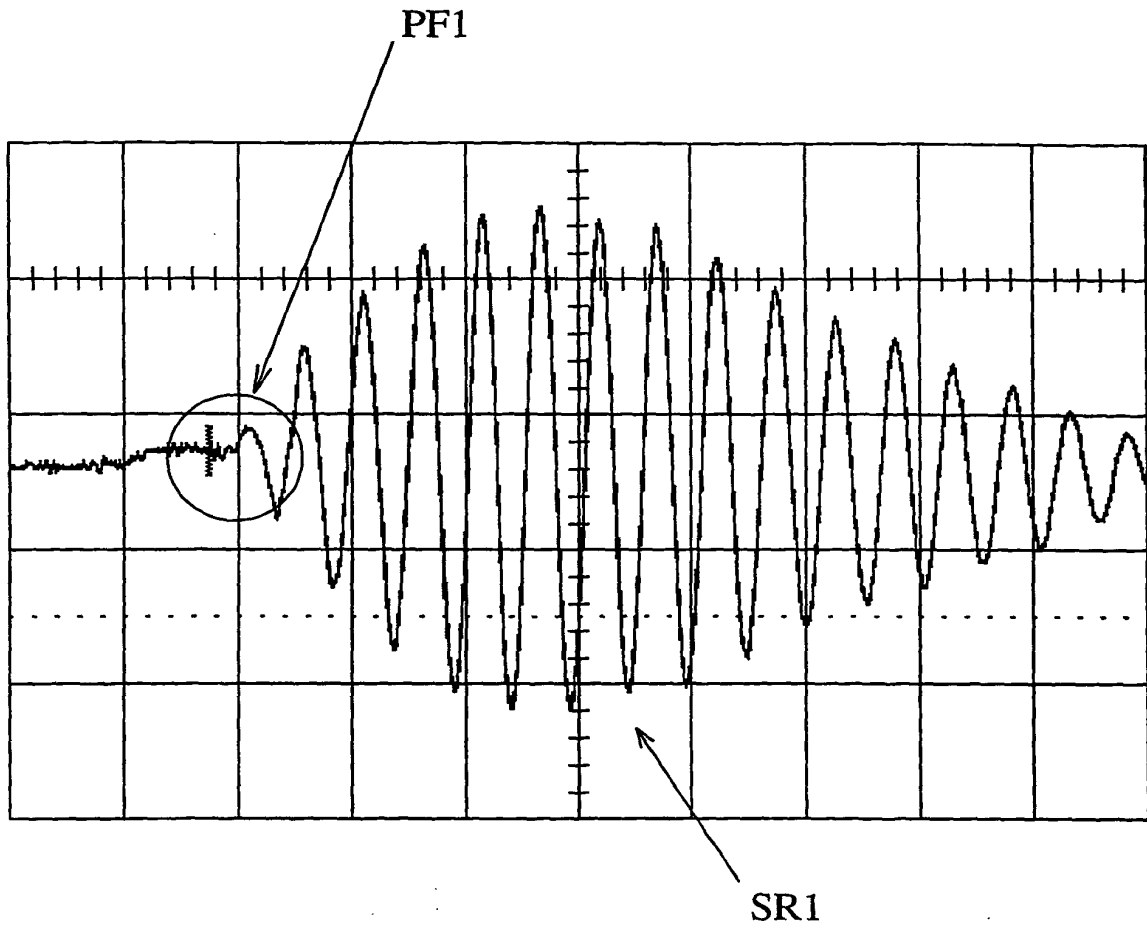


Fig. 2

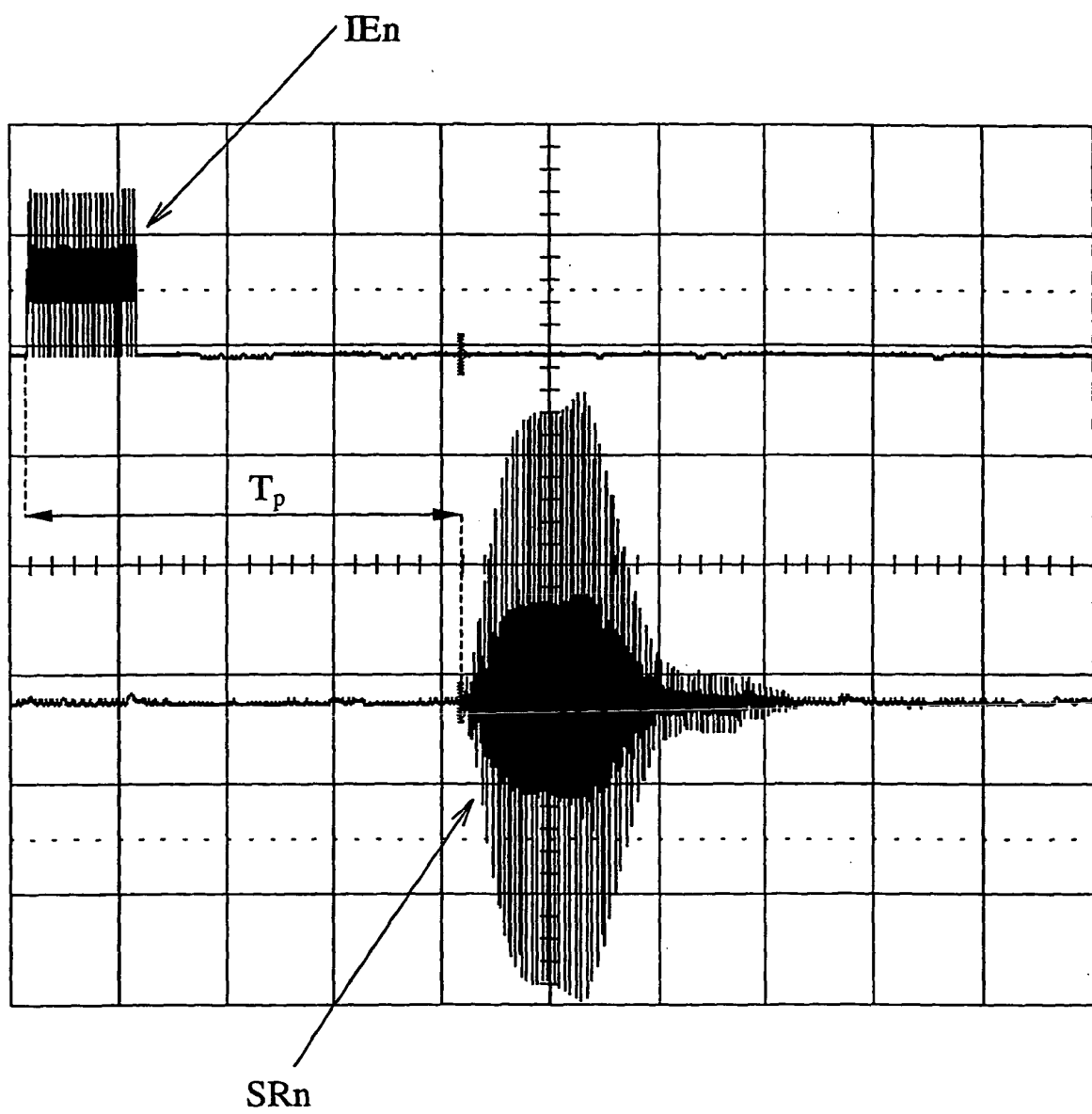


Fig. 3

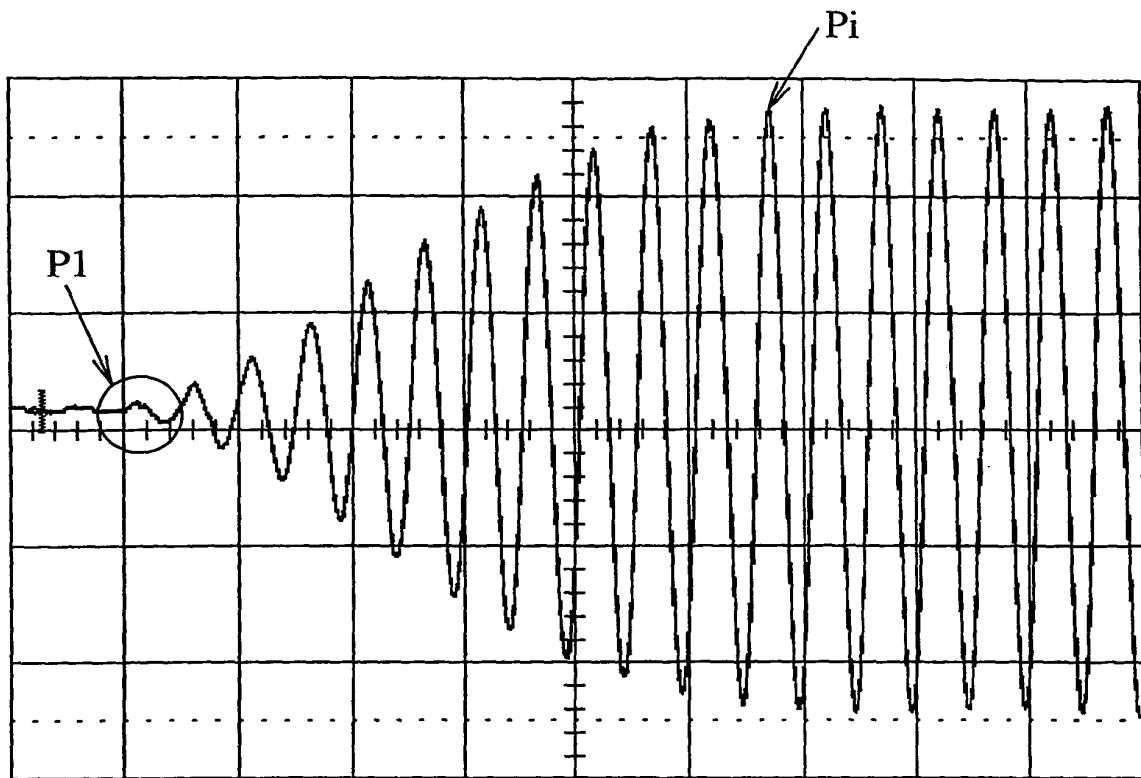


Fig. 4

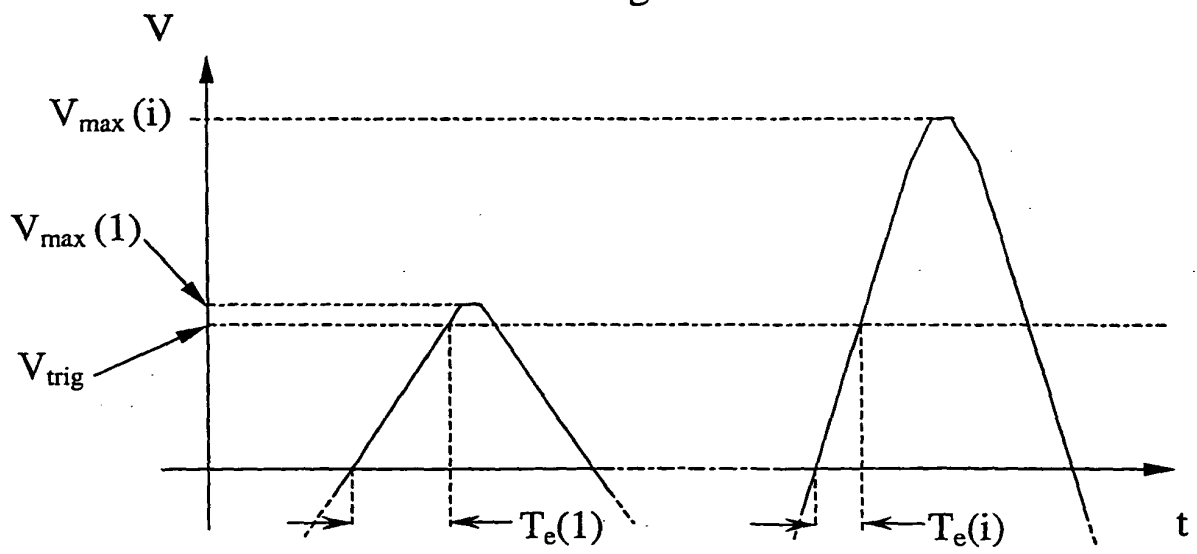


Fig. 5

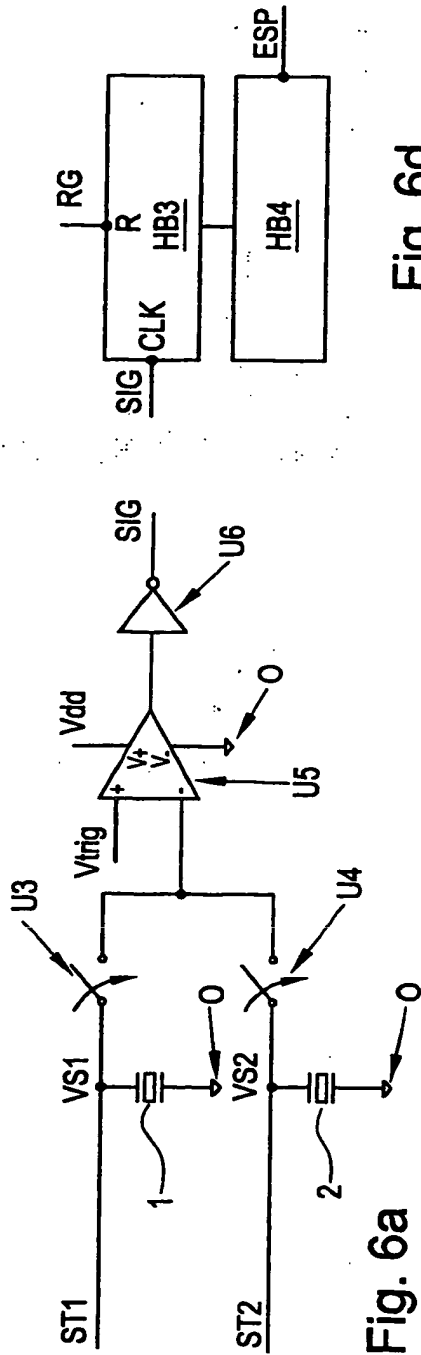


Fig. 6d

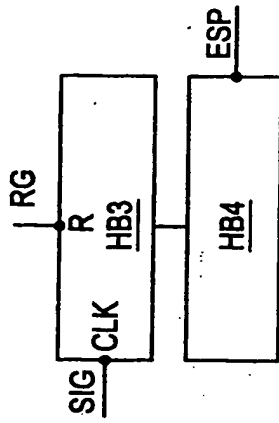


Fig. 6a

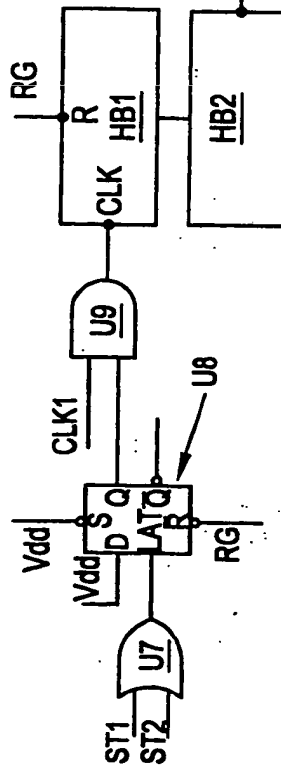


Fig. 6b

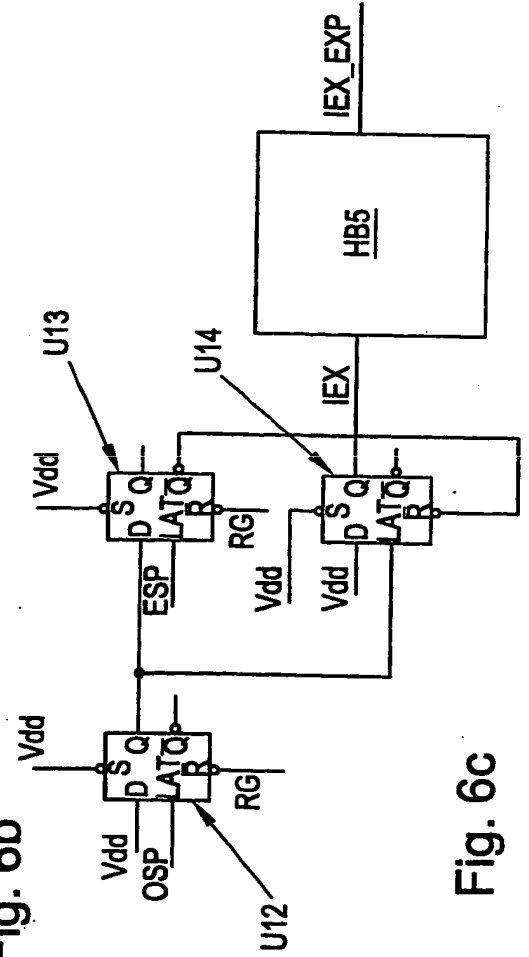


Fig. 6c

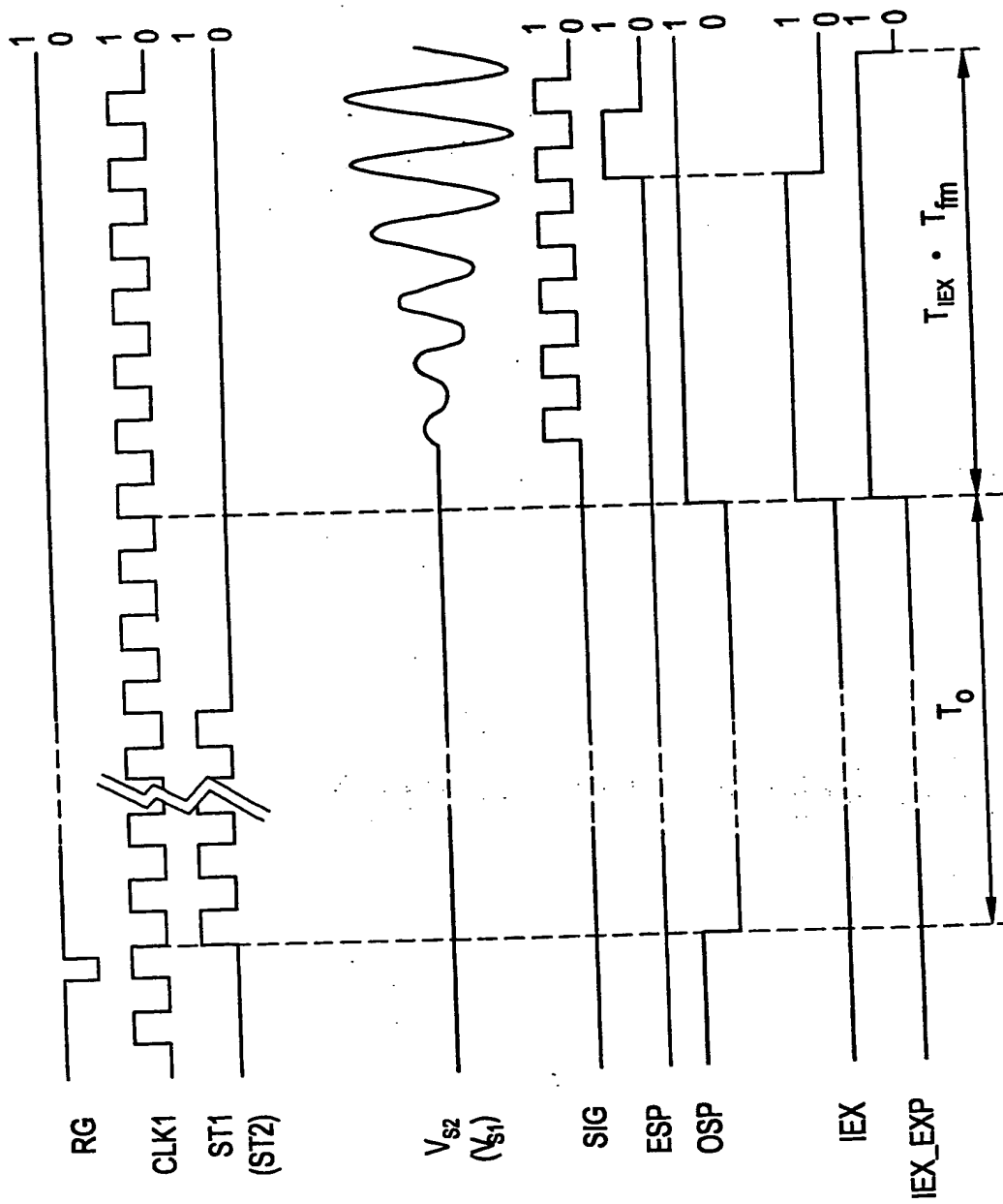


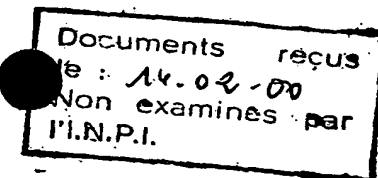
Fig. 7

Revendications modifiées :

1. Méthode pour mesurer le temps de propagation  $T_p$  d'un signal ultrasonore entre deux transducteurs constitués d'un émetteur et d'un récepteur à distance l'un de l'autre, le transducteur émetteur étant soumis à un signal d'excitation donnant lieu à l'émission d'une onde ultrasonore en direction du transducteur récepteur, ladite onde ultrasonore générant en sortie du transducteur récepteur un signal de réception, caractérisée en ce que ladite méthode comporte les étapes suivantes :
  - débiter une mesure de temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  dès le début de l'excitation du transducteur émetteur,
  - détecter le signal de réception en sortie du transducteur récepteur et compter les oscillations dudit signal de réception,
  - arrêter la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  lorsque la  $i$ -ième oscillation est détectée, et
  - déterminer le temps de propagation  $T_p$  du signal en formant la différence  $T_{int} - i \times T_e$ .
2. Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la  $i$ -ième oscillation du signal de réception correspondant à une amplitude du signal de réception maximum.
3. Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la  $i$ -ième oscillation du signal de réception telle que  $i \neq 1$ .
4. Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le transducteur émetteur est soumis à un signal d'excitation comportant  $n$  impulsions successives de période  $T_e$ .
5. Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{int}$  est arrêtée pour la  $i$ -ième oscillation du signal de réception telle que  $i = n$ .

6. Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que la mesure du temps de propagation intermédiaire  $T_{im}$  est arrêtée pour la  $i$ -ième oscillation du signal de réception telle que de préférence  $i = 4$  ou  $5$ .
- 5 7. Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le nombre d'impulsions  $n$  composant le signal d'excitation est tel que  $n \neq 1$ .
8. Méthode selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le nombre d'impulsions  $n$  composant le signal d'excitation est tel que de préférence  $n=4$  ou  $5$ .
- 10 9. Dispositif de mesure du temps de propagation  $T_p$  d'un signal ultrasonore comprenant :
- des moyens de formation d'un signal d'excitation,
  - un transducteur émetteur 1, 2 relié audits moyens de formation d'un signal d'excitation,
  - un transducteur récepteur transformant le signal ultrasonore en un signal de réception,
  - 15 - des moyens de comparaison reliés audit transducteur récepteur, comparant l'amplitude du signal de réception à une tension seuil de déclenchement et générant un signal représentatif des oscillations dudit signal de réception,
- caractérisé en ce qu'il comporte en outre :
- des moyens de décomptage d'un temps fixe  $T_0$  reliés audits moyens de formation d'un signal d'excitation, destinés à décompter un temps fixe  $T_0$  à partir de l'instant d'excitation du transducteur émetteur,
  - 20 - des moyens de détermination de la  $i$ -ième oscillation reliés audits moyens de comparaison destinés à compter le nombre d'oscillations du signal de réception et à détecter la  $i$ -ième oscillation,
  - 25 - des moyens de mesure d'un temps variable  $T_{IEX}$  entre la fin du décompte de  $T_0$  et la détection de la  $i$ -ième oscillation.
10. Dispositif de mesure du temps de propagation  $T_p$  d'un signal ultrasonore selon la revendication 9, caractérisé en ce que les moyens de décompte d'un temps fixe  $T_0$  comprennent
- 30 un compteur (HB1) et un décodeur (HB2).
11. Dispositif de mesure du temps de propagation  $T_p$  d'un signal ultrasonore selon l'une des revendications 9 à 10, caractérisé en ce que les moyens de détermination de la  $i$ -ième oscillation comportent un compteur (HB3) et un décodeur (HB4).





12. Dispositif de mesure du temps de propagation  $T_p$  d'un signal ultrasonore selon l'une des revendications 9 à 11, caractérisé en ce que les moyens de mesure du temps variable  $T_{IEX}$  comportent un dispositif expenseur de temps (HB5).

